

Campagna di verifica della camera ad alto-vuoto per la missione spaziale “LISA Pathfinder”

*P. Sarra, D. Desiderio e A. Ricciu
Carlo Gavazzi Space S.p.A., Milano*

Introduzione

La missione spaziale “LISA Pathfinder” dell’Agenzia Spaziale Europea (ESA) ha l’obiettivo di verificare le tecnologie necessarie allo sviluppo del primo osservatorio orbitante di onde gravitazionali: LISA (Laser Interferometer Space Antenna). L’Agenzia Spaziale Italiana (ASI) collabora a pieno titolo in questa missione europea fornendo una delle tecnologie chiave dell’intero progetto: il Sensore Inerziale.

Il sensore è principalmente costituito da una massa di prova “flottante”: lo specchio di riferimento dell’interferometro laser [1]. La massa di prova è circondata da una serie di elettrodi utilizzati sia per il controllo in attuazione che per la misura di posizione. Il sensore è inoltre completato da una serie di equipaggiamenti di supporto: un meccanismo per il bloccaggio della massa di prova durante le prove a terra e al lancio, un dispositivo ad emissione di raggi UV per il controllo della carica della massa di prova, una massa di bilanciamento per annullare il campo ed il gradiente gravitazionale visto dalla massa di prova.

Il sensore è racchiuso in una camera da alto-vuoto necessaria al fine di garantire una pressione intorno alla massa di prova inferiore a 10^{-7} mbar per l’intera durata della missione.

La camera è dotata di passanti elettrici, di passanti in fibra-ottica (UV) e di finestre ottiche per l’accesso del laser. La camera è evacuata prima del lancio ed una valvola ne garantisce la tenuta da vuoto dopo avere scollegato il sistema di pompaggio di laboratorio. Il mantenimento della pressione è quindi garantito da tre condizioni fondamentali: contenuto degasaggio della camera e degli equipaggiamenti che compongono il sensore, limitate perdite dei passanti, della finestra, della valvola e delle guarnizioni della camera ed infine pompaggio mediante getters alloggiati all’interno della camera. Pertanto una conoscenza dei carichi di gas è fondamentale al fine di dimensionare correttamente le pompe getter.

Carlo Gavazzi Space SpA (CGS), primo contraente industriale con responsabilità dello sviluppo e della integrazione del “sensore inerziale”, utilizza un cerca fughe ad elio per le verifiche di ermeticità della camera da vuoto e delle parti che la compongono.

CGS ha inoltre realizzato un laboratorio da vuoto, dedicato a questo particolare progetto, per la misura dei carichi di gas con la tecnica della risalita di pressione.

Requisiti da vuoto per il “Sensore Inerziale”

La camera da alto-vuoto è concepita per garantire una pressione intorno alla massa di prova inferiore a 10^{-7} mbar per l’intera durata della missione, di 17 mesi. L’installazione a bordo del satellite di un sistema di pompaggio attivo non è compatibile con il corretto funzionamento del sensore inerziale. Pertanto l’idea di base è quella di evacuare e degasare la camera da alto vuoto con un sistema di pompaggio a terra. Al termine di queste operazioni la camera è chiusa ermeticamente. Il mantenimento della pressione in volo è garantito da un set di getters di tipo NEG. L’attivazione delle getters è effettuata una prima volta durante della campagna di prove

del sensore inerziale ed è ripetuta tre mesi prima del lancio con il sensore installato a bordo del satellite.

Al fine di garantire il mantenimento del requisito di vuoto, per la durata totale di 20 mesi, sono quindi necessarie tre condizioni:

- corretto dimensionamento delle pompe getter,
- basso degasaggio della camera e degli equipaggiamenti che compongono il sensore inerziale racchiusi al suo interno,
- contenute perdite da vuoto della camera e degli accessori che la compongono.

Il dimensionamento delle pompe getter in linea di principio necessita come “input” il carico di gas della camera, dove per carico di gas si intende sia il contributo di degasaggio che quello di perdite reali della camera.

D'altra parte essendo lo sviluppo sia della camera che del sensore inerziale svolto in parallelo, una misura del carico di gas è disponibile soltanto a completamento del progetto. Il dimensionamento delle pompe getter è quindi basato applicando dei requisiti di carico di gas definiti a priori. Tuttavia durante ed al termine della fase di sviluppo è prevista la misura dei carichi di gas effettivi, sia della camera che del sensore, in modo da verificarne la corrispondenza con i requisiti imposti.

Il limite superiore per le perdite reali dell'intera camera (flange, passanti, finestre e valvola ermetica) è fissato a 10^{-9} mbar l/sec per prove con cerca fughe in elio in modalità “outside-in”. Ovviamente eventuali perdite reali della camera si traducono in contributi di carico di gas, principalmente azoto e ossigeno, per il solo periodo di permanenza a terra: dal momento della chiusura ermetica della camera fino al giorno del lancio del satellite.

Il limite superiore per il degasaggio della camera e degli equipaggiamenti del sensore inerziale è fissato parimenti a 10^{-9} mbar l/sec. Il requisito comprende contributi dei seguenti gas: idrogeno, acqua, ossigeno, azoto, ossidi di carbonio.

Il degasaggio di gas nobili, idrocarburi ed altri gas (non pompati dai getters) deve essere trascurabile o comunque entro valori tali da non compromettere il mantenimento del requisito di pressione per la durata della missione.

Descrizione della camera da alto-vuoto per “LISA Pathfinder”

Introduzione

Lo sviluppo della camera da alto-vuoto per il sensore inerziale della missione “LISA Pathfinder” è riportata in un precedente lavoro dell'autore di questa relazione [2].

La camera da vuoto del sensore inerziale sarà realizzata in lega di Titanio grado 5 (Ti-6Al-4V). La camera (circa 4 litri di volume) è composta da (figura 1):

- una camera principale cilindrica con diametro interno 132mm con flange CF fuori standard da 176 mm di diametro esterno,
- un coperchio inferiore,
- un coperchio superiore sul quale è stata ricavata una valvola ermetica “all-metal” con flangia CF 2.75” per la connessione al sistema di pompaggio,
- due finestre ottiche, una per l'accesso del fascio laser dell'interferometro e l'altra per l'ispezione durante le fasi di montaggio ed allineamento del sensore,
- quattro passanti in fibra ottica per l'accesso di luce UV utilizzati per il controllo della carica sulla massa di prova,
- passanti elettrici di tipo Sub-D e coassiali per alimentazione e controllo del sensore,

- un set di getters di tipo NEG (SAES St172/HI/7-6) [3].

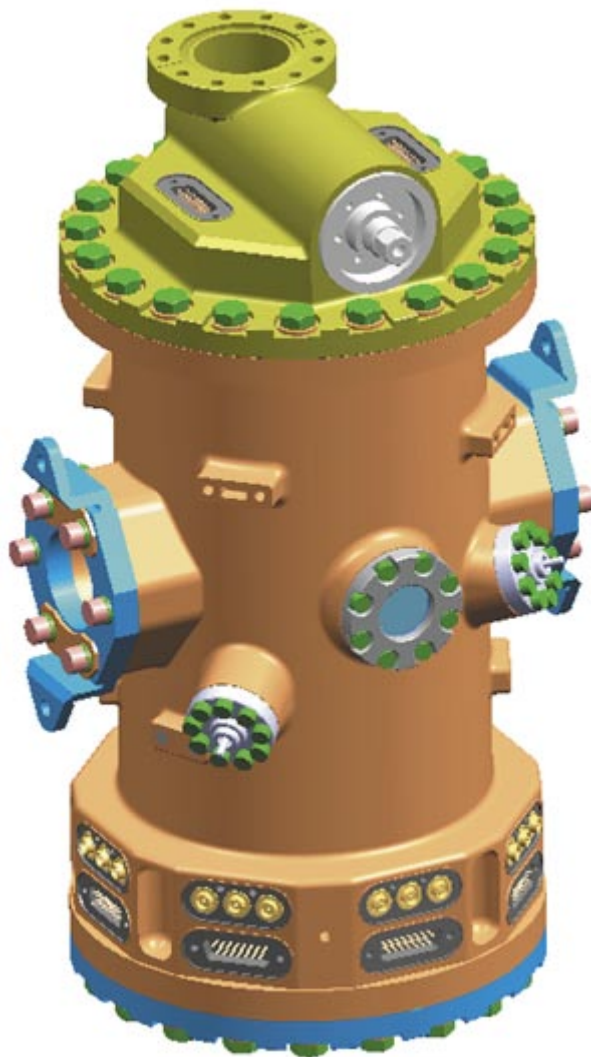


Figura 1 – Immagine CAD della camera da alto-vuoto di LISA Pathfinder

Un primo prototipo della camera, della valvola e del set di pompe getters è in fase avanzata di realizzazione. Alcuni prototipi delle parti accessorie della camera, come la finestra ottica, i passanti elettrici ed i passanti in fibra ottica sono stati realizzati e sottoposti ad una prima campagna di prove da vuoto comprensiva di ricerca fuga e verifica carico di gas.

Misura dei carichi di gas

La tecnica utilizzata da CGS prevede la misura della risalita di pressione a camera isolata dal sistema di pompaggio.

$$\frac{dP}{dt} = \frac{Q_{UUT} + Q_{BKG} + Q_{LEAK}}{V}$$

La risalita dP/dt è monitorata nell'intervallo di pressione 10^{-9} - 10^{-6} mbar. Le misure sono effettuate sia con un gauge a ionizzazione che con uno spettrometro di massa. Tali misure forniscono indicazioni cumulative degli effetti di degasaggio del campione di test Q_{UUT} e della camera Q_{BKG} e delle eventuali perdite della camera Q_{LEAK} . L'utilizzo di uno spettrometro di

massa in linea di principio permettere di discriminare i due contributi. La misura della perdita così ottenuta può essere comparata con quella ricavata con la tecnica normalmente utilizzata mediante cerca fughe.

Lo schema del sistema da vuoto utilizzato da CGS per effettuare le misure di carico di gas è riportato in figura 2.

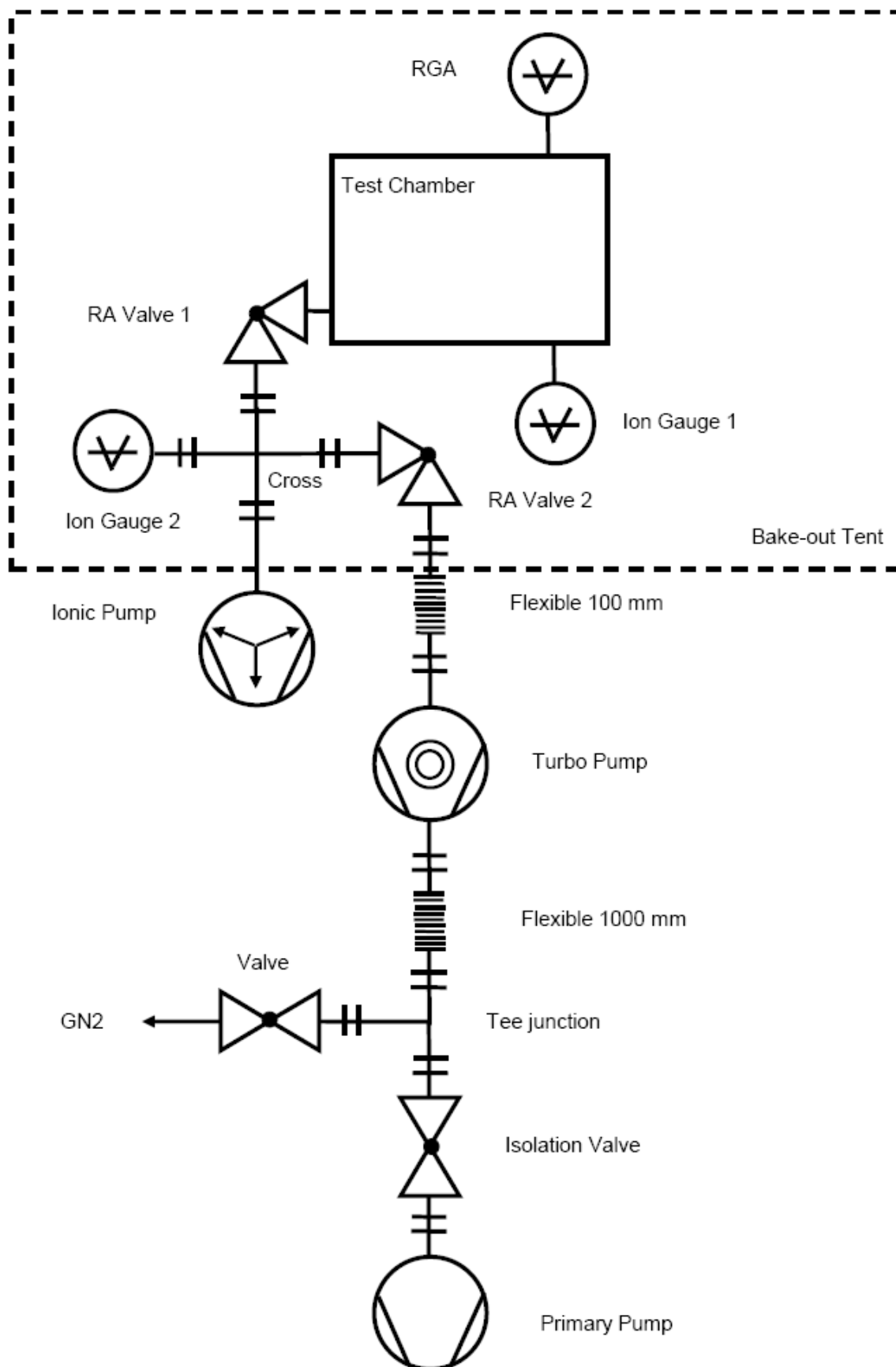


Figura 2 – Schema del sistema da vuoto per la misura del carico di gas.

Lo spettrometro e il gauge di pressione, di tipo “hot cathode”, sono installati direttamente sulla camera di prova (figura 3). La camera di prova è stata realizzata in lega di Titanio grado 5 con dimensioni principali (diametro interno 132 mm per una profondità di circa 270 mm). Materiale e dimensioni sono quindi equivalenti a quella della camera che sarà alloggiata a bordo di LISA Pathfinder. Quindi una misura del carico di gas della camera di prova fornisce una misura rappresentativa della camera di volo.

La procedura seguita per la misura è la seguente:

1. Predisposizione del “set-up” di prova (con campione inserito in camera oppure montato sulle porte CF presenti sulla camera, nel caso di passanti e finestra ottica).
2. Evacuazione della camera di prova con pompa turbo.
3. Verifica della pressione durante il pompaggio con teste di misura sulla camera e sulla linea di pompaggio.
4. Verifica, a circa 24 ore dall’avvio della procedura, dei gas residui con spettrometro durante il pompaggio con turbo.
5. “Bake-out” della camera di prova, della linea di pompaggio e della pompa ionica (pompa turbo esclusa), per due giorni a circa 130C.
6. Accensione della pompa ionica e pompaggio combinato con turbo per circa 24 ore.
7. Isolamento della camera di prova con valvola RA e misura della risalita di pressione (spettrometro spento).
8. Re-evacuazione della camera di prova e accensione spettrometro con verifica dei gas residui durante pompaggio combinato ionica-turbo per circa 24 ore.
9. Isolamento della camera di prova con valvola RA e misura della risalita di pressione (spettrometro acceso).
10. Rientro in azoto e predisposizione per misura successiva.

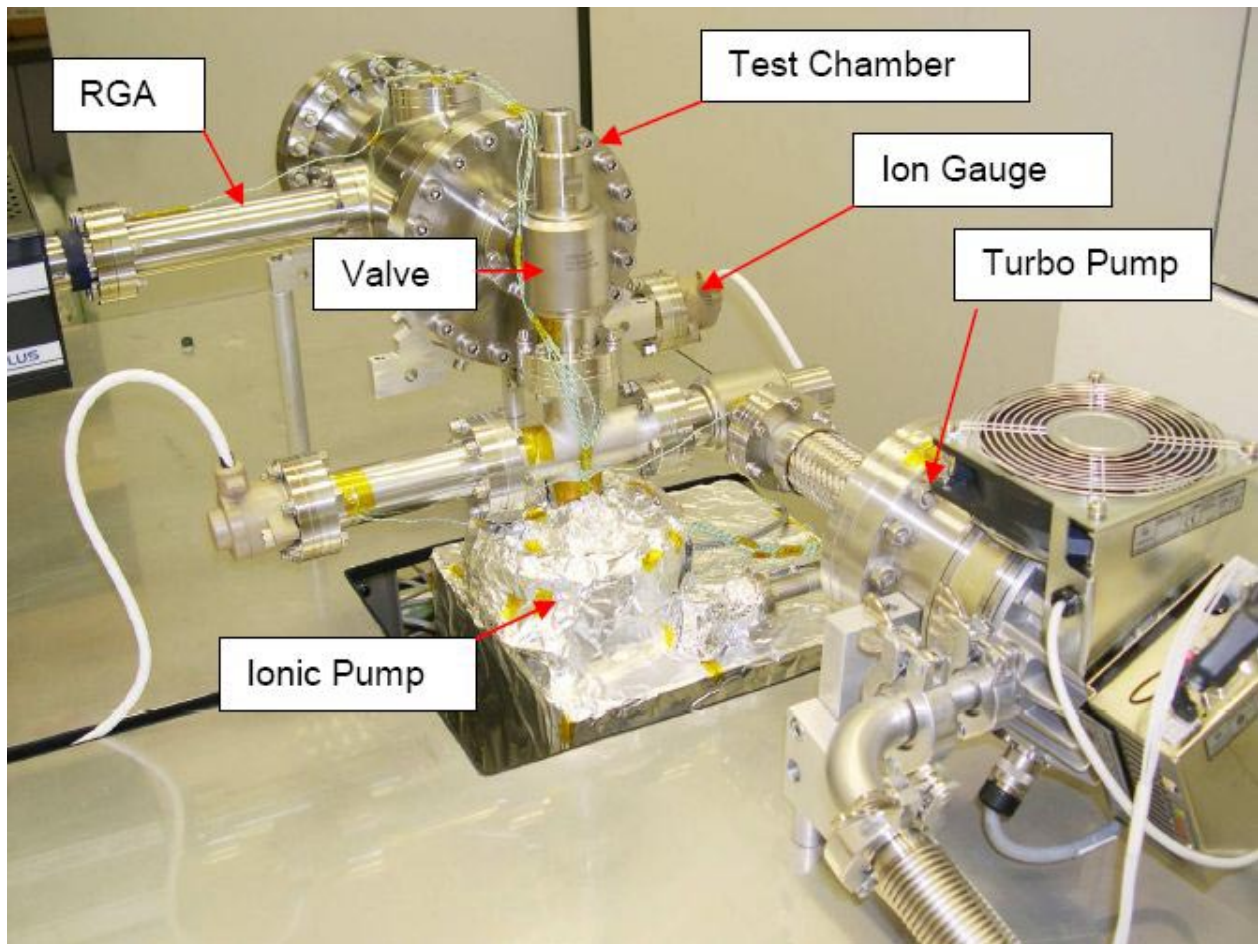


Figura 3 –Sistema da vuoto per la misura del carico di gas.

Al termine della misura di un campione la stessa sequenza di misura è ripetuta con la camera di prova priva di campione. Questo procedimento è necessario per poter confrontare il contributo del campione di prova con quello della camera.

Risultati

Al termine del “bake-out”, la camera di prova raggiunge una pressione base, sotto pompaggio, nella decade di 10^{-10} mbar. Uno spettro dei gas residui è riportato in figura 4. Risultati analoghi sono tipicamente ottenuti anche per prove di campioni con basso de-gasaggio residuo e, nel caso di prove di passanti o finestre ottiche, se queste non hanno perdite reali apprezzabili, verificate prima della misura con un cerca fughe (sensibilità nella decade di 10^{-10} mbar l/sec).

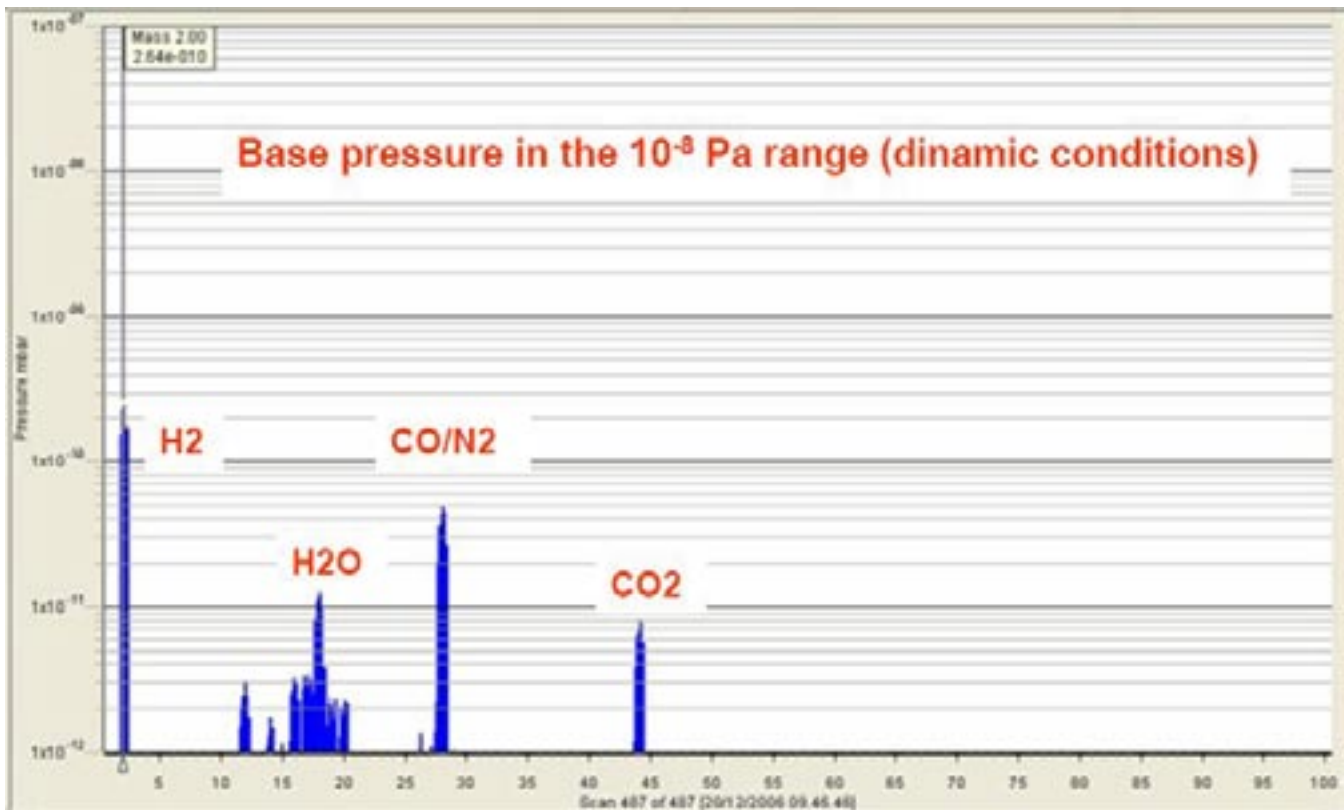


Figura 4 – Pressione residua della camera di prova durante pompaggio.

Alcuni dei risultati ottenuti durante le prove in vuoto statico (camera isolata) sono raccolti in figura 5. I dati della figura sono stati calcolati mediante la seguente

$$Q_{TOT} = V \frac{\Delta P}{\Delta t} \cong V \frac{P(t)}{t - t_0}$$

Dove V è il volume della camera (circa 4 litri), $P(t)$ la pressione della testa di misura all'istante t e t_0 è l'istante di chiusura della valvola. Il carico di gas calcolato è quindi un valore medio dall'istante t e t_0 , con un'approssimazione accettabile in quanto dopo pochi minuti la pressione in statico incrementa di un paio di decadi.

Dopo circa due ore di vuoto statico le misure effettuate (spettrometro spento) forniscono un carico complessivo nella decade di 10^{-11} mbar l/sec.

Sebbene questi dati siano relativi ad un limitato numero di campioni, il carico di gas complessivo, sia in termini di degasaggio che di perdite reali, ad oggi è ampiamente entro le specifiche ipotizzate per il dimensionamento delle pompe getter.

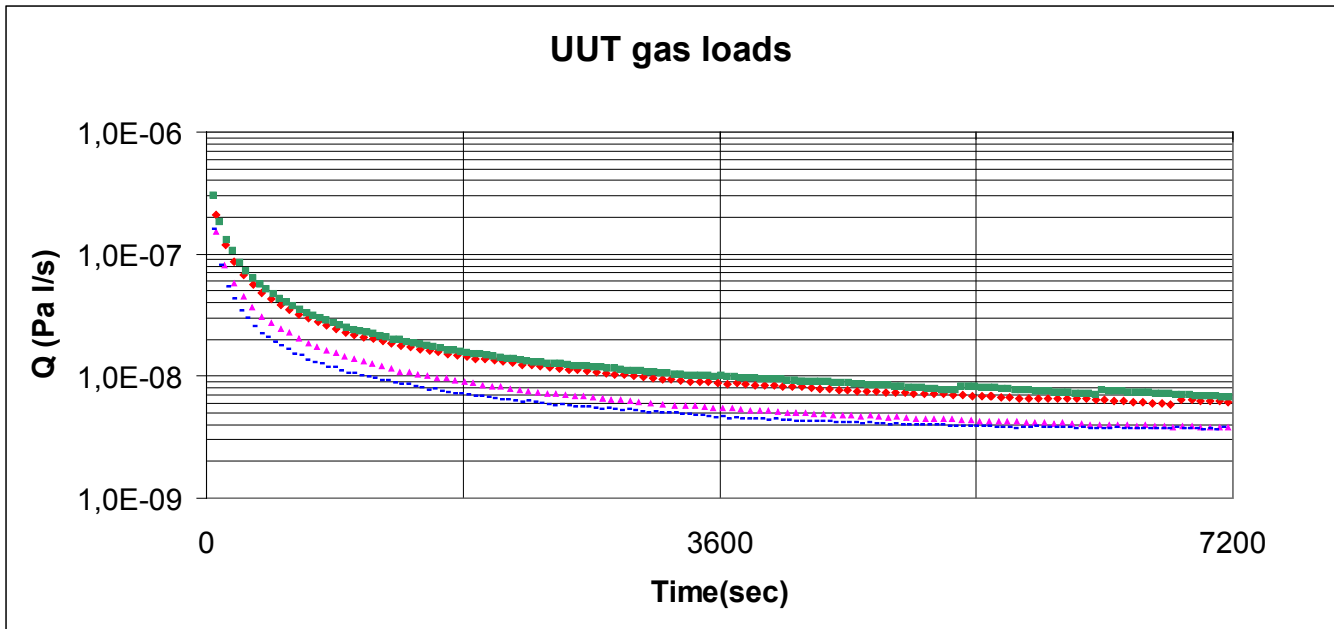


Figura 5 – Carico di gas misurato su alcuni campioni (spettrometro spento).

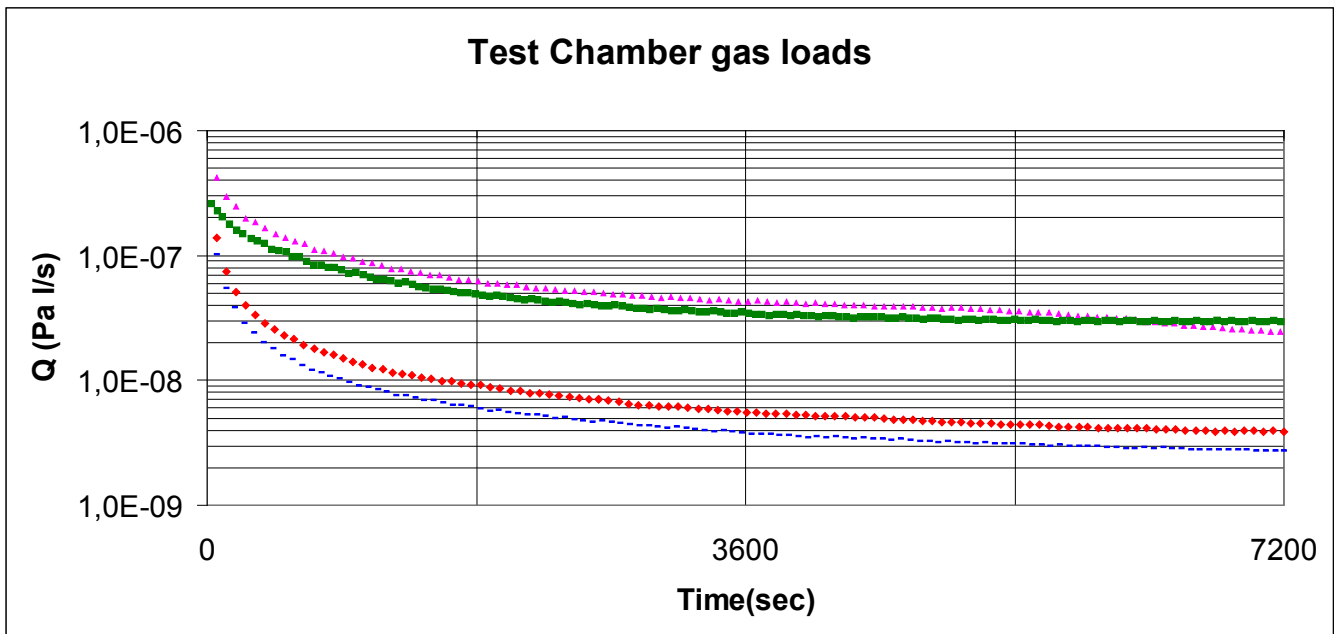


Figura 6 – Carico di gas della camera di prova (spettrometro spento).

Le misure ripetute sulla camera di prova non sempre hanno riprodotto risultati inferiori a quella del campione di misura, come atteso in linea di principio. In figura 6 sono mostrate un paio di prove, curve rosa e verde, dove il carico della camera misurato nella successiva sessione di prove è superiore a quello del campione di prova. Una chiara interpretazione di questo risultato non è stata formulata. Di fatto i campioni in questione consistono di un set di cavi e di un set di termistori incollati su supporto in metallo. In entrambe le prove questi campioni hanno rilasciato durante la fase di pompaggio e “bake-out” un notevole degasaggio.

La ripetibilità della misura di carico di gas della camera di prova (priva di campione) è quindi alterabile dalle precedenti misure sul campione.

Nella figura 7 sono riportate le pressioni residue misurate in statico (camera isolata) della camera di prova durante una sessione di misura. Il principale contributo, almeno nella fase iniziale di misura, è rilevato ad AMU=2 (H_2), superato dal contributo ad AMU=28 (CO e N_2),

attribuibile principalmente al CO da un'analisi di frammenti di gas, confermata da assenza di AMU=32, ovvero O₂). Contributi inferiori sono ottenuti per AMU=16 (CH₄), AMU=44 (CO₂), AMU=18 (H₂O). Le misure in statico confermano almeno in via qualitativa quelle effettuate durante il pompaggio. Tuttavia con spettrometro acceso si riscontra per lo stesso campione un di carico di gas totale di una o due decadi superiore in maniera sistematica per ogni sessione di misura. Mentre in dinamico l'utilizzo dello spettrometro introduce un lieve incremento della pressione residua, in condizioni statiche il degasaggio (diretto o indotto) dello spettrometro altera la misura di carico di gas in modo sostanziale: i carichi di gas sono dell'ordine di 10⁻⁹ mbar l/sec quindi uguali o superiori alle specifiche ipotizzate per il dimensionamento delle pompe getter.

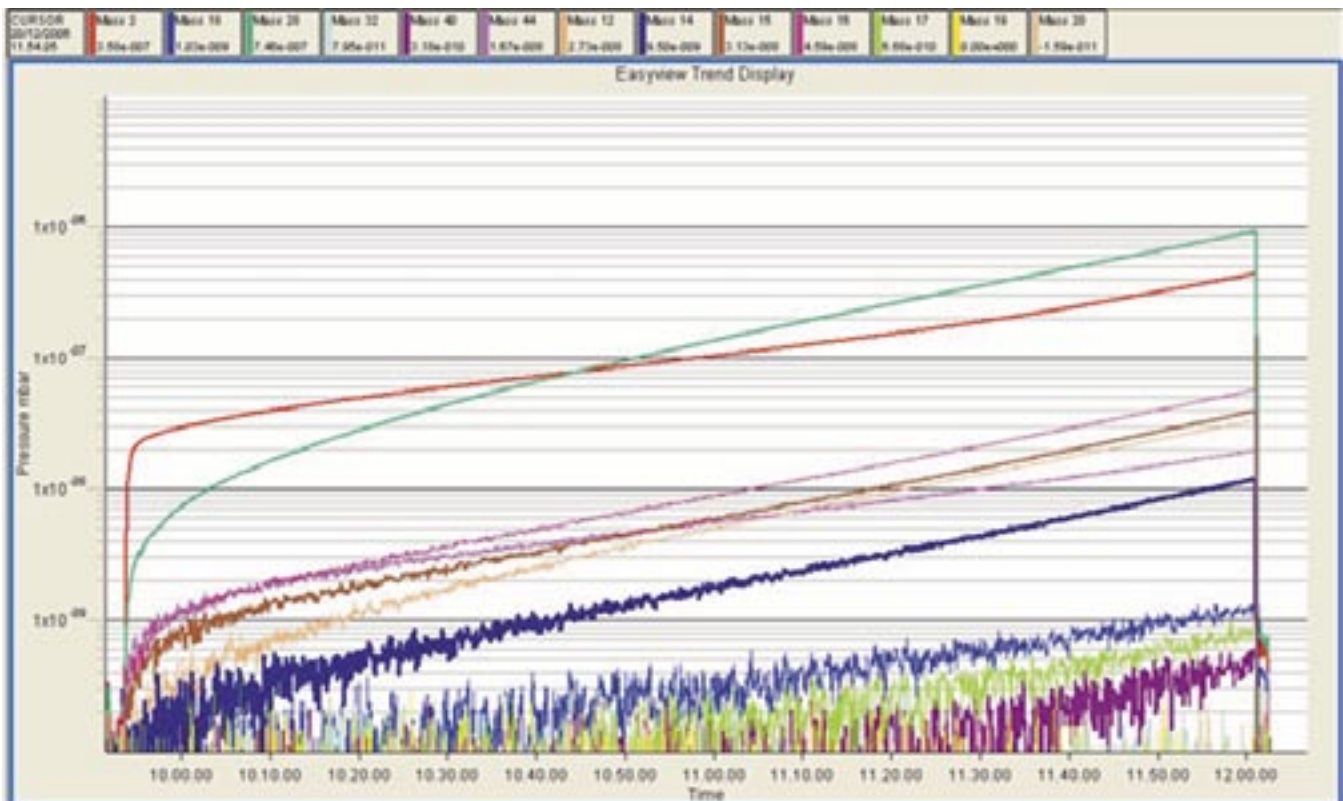


Figura 7 – Pressione residua della camera di prova in statico.

Conclusioni

I risultati preliminari ottenuti dalla campagna di misura condotta da CGS indicano per la camera di alto-vuoto di LISA Pathfinder risultati in termini di fughe reali e di degasaggio entro le specifiche ipotizzate per il dimensionamento delle pompe getter.

Tuttavia la tecnica di misura sviluppata ad oggi non permette di raggiungere i valori di ripetibilità delle misure sul carico di gas totale ipotizzati. Inoltre l'analisi dei gas residui in statico non permette di raggiungere la sensibilità necessaria per la misura, pur fornendo risultati qualitativi apprezzabili.

Investigazioni su come migliorare lo schema e la procedura di misura sono tuttora in corso di studio.

Bibliografia

1. S.Anza et al.- "The LTP experiment on the LISA Pathfinder mission", Class. Quantum

Grav. 22 (2005) S125–S138

2. P. Sarra et al.-“Development of a High Vacuum Chamber for space application: LISA Pathfinder mission.”, XVIII Congresso Nazionale sulla Scienza e Tecnologia del Vuoto, Firenze, Aprile 2007.

3. M. Urbano et al.- “Modeling of vacuum distribution inside LISA Pathfinder chamber “,XVIII Congresso Nazionale sulla Scienza e Tecnologia del Vuoto, Firenze, Aprile 2007